

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE INGENIERIA



ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES

Laboratorio de Ingeniería Eléctrica I

Guía de prácticas

Revisión: octubre, 1996

Indice:

Finalidad del curso

Las prácticas de laboratorio son fundamentales en la enseñanza de la ingeniería: complementan las clases teóricas y contribuyen a desarrollar el sentido de observación y el espíritu de síntesis necesario para darle al conocimiento su significado verdadero.

Las actividades que deberá realizar el estudiante y los objetivos que deberá alcanzar son básicamente los siguientes:

- Comprobar las hipótesis, los principios y los modelos desarrollados en las clases de teoría.
- Familiarizarse con el uso de equipos e instrumentos de medición, conocer las instrucciones de operación y saber interpretar las hojas de especificaciones suministradas por el fabricante.
- Desarrollar habilidades y destrezas en el montaje de circuitos, medición de instrumentos y cálculos operacionales.
- Aprender a comunicar con claridad, orden y precisión el proceso y los resultados del trabajo realizado.

Reglamento y evaluación

El alumno regularmente inscrito deberá realizar todas las prácticas programadas asistiendo al laboratorio en la hora y fecha que le corresponde. En caso de llegar con más de veinte (20) minutos de retraso será considerado inasistente y no le será permitido trabajar. El estudiante perderá la asignatura en caso de dos (2) ó más inasistencias a las prácticas, en este caso se le asentará en la planilla de notas como inasistente. Debido a la estructura secuencial de las actividades de este laboratorio no están previstas semanas de recuperación de prácticas perdidas, pero en caso de fuerza mayor justificada, la persona afectada podrá recuperar la práctica en otro grupo de laboratorio ó en un horario tal que el laboratorio este disponible para tal fin. En tales casos el alumno interesado deberá realizar

la solicitud al coordinador de los laboratorios, el cual, previa consulta con el profesor del grupo, y en caso de que sea procedente la solicitud fijará la hora y el día para la recuperación. En todo caso el alumno no tendrá derecho a más de dos (2) prácticas de recuperación por semestre.

Es un requisito indispensable llegar preparado al laboratorio para que los experimentos puedan realizarse correctamente en el lapso establecido, por tal motivo, es necesario estudiar con anticipación el contenido de la guía y aclarar las posibles dudas.

La preparación previa del estudiante se evaluará mediante una prueba corta al inicio de la sesión de laboratorio y mediante la presentación de un preinforme. Este preinforme deberá contener los cálculos y puntos de investigación indicados en las guía bajo el título "Trabajo previo al laboratorio"; la presentación de este prelaboratorio es indispensable y en caso de no ser realizado el alumno perderá automáticamente el derecho a realizar la práctica, considerándosele inasistente en la misma. Asimismo el profesor podrá realizar interrogatorios o pruebas cortas en los casos que considere pertinente a fin de complementar la nota correspondiente al trabajo en el laboratorio. También es obligatorio llegar equipado al laboratorio con los materiales necesarios para la realización de la práctica: guía, calculadora, regla, papel milimetrado, etc.

Tomando en cuenta que el equipo que se utilizará en este laboratorio es sumamente delicado y costoso, se agradece a los usuarios el trato adecuado. En caso de que por negligencia se estropeara algún aparato, el individuo o equipo de trabajo responsable perderá la práctica y además deberá pagar el costo de la reparación.

En el transcurso del semestre se realizarán 8 prácticas de laboratorio. Al finalizar cada práctica el alumno deberá elaborar un informe de laboratorio escrito el cual deberá entregar al inicio de siguiente sesión de laboratorio. Al alumno que entregue su informe retrasado, se le restará un (1) punto de la nota de éste por cada día hábil de retraso. No se

aceptarán informes con más de una semana de retraso (5 días hábiles). La no entrega del informe de una práctica automáticamente hará que al alumno se le considere inasistente en dicha práctica, aún cuando haya entregado el preinforme respectivo y haya participado en la sesión de laboratorio.

La calificación de los informes se realizará en base a la siguiente puntuación máxima:

- Trabajo y resultados de laboratorio .... 5pts.
- Tablas, gráficos y cálculos .... 5pts.
- Observaciones, discusiones y conclusiones .... 5pts.
- Presentación, redacción y ortografía .... 5pts.

Se realizarán dos (2) exámenes de control. Dichos exámenes serán realizados por el coordinador del laboratorio y cubrirán los contenidos teóricos de las prácticas. Después de culminadas las cuatro primeras prácticas se realizará el primer examen de control y una vez culminadas las cuatro prácticas restantes se realizará el segundo examen de control.

Es de destacar que es condición indispensable para la aprobación de la asignatura que el promedio de las notas obtenidas en los controles sea mayor o igual a diez (10) puntos. En caso de no cumplir con lo anterior el alumno reprobará la asignatura y se asentará en la panilla de notas el promedio de las notas obtenidas en los exámenes de control. En caso que el promedio de los exámenes de control este comprendido entre 9,5 y 10 puntos se asentará la planilla la calificación de 9 puntos. Si el promedio de la nota de los controles de laboratorio es mayor o igual a 10 puntos la nota total del laboratorio se calculará según los siguientes porcentajes:

- Promedio de notas de las prácticas 50%
- Primer examen de control 25%

- Segundo examen de control 25%

en donde la nota de cada práctica se calculará según los siguientes porcentajes:

- Preinforme 50%
- Informe 30%
- Trabajo en el laboratorio.. 20%

y el promedio de las nota de las prácticas se calculará en base a ocho (8) prácticas.

Para aprobar el laboratorio el alumno deberá obtener una calificación final (calculada según los porcentajes anteriores) mayor o igual a 9,5 puntos.

Adicionalmente a las sesiones de laboratorio se dicta una clase de prelaboratorio. En esta clase se imparten los contenidos teóricos asociados a las prácticas, asimismo en esta clase se aclararán las dudas que surjan en la realización de los preinformes que se deberán entregar al inicio de las sesiones de laboratorio. La asistencia a la clase de prelaboratorio no es obligatoria, sin embargo se recomienda asistir a esta. Es de hacer notar que los exámenes de control usualmente son realizados en el horario previsto para la clase de prelaboratorio. Dado que la asignatura es eminentemente práctica no está previsto examen de reparación.

Informes de laboratorio

Para un ingeniero la habilidad de poder comunicar por escrito el resultado de un trabajo experimental, en forma clara breve y debidamente estructurada, es de gran importancia, ya que muchas veces este informe es el único contacto que tiene con sus colegas, superiores o clientes.

Uno de los objetivos de la asignatura Laboratorio de Ingeniería Eléctrica I es aprender a redactar informes, en los cuales el estudiante debe comunicar con claridad,

orden y precisión el proceso y los resultados del trabajo realizado en las sesiones de laboratorio.

Todo informe debe estar estructurado de la siguiente manera:

- Título: donde se identifica el número de la práctica de laboratorio y el título de la misma.
- Objetivo: donde se expresa el objetivo u objetivos perseguidos con la práctica de laboratorio. En la guía de laboratorio aparecen los objetivos para cada práctica, sin embargo se recomienda que el estudiante los amplíe, en base a las experiencias realizadas en la práctica de laboratorio.
- Materiales y equipos utilizados: se debe detallar la lista materiales y equipos utilizados indicando sus características más importantes (marca, modelo, características de funcionamiento, etc.)
- Procedimiento y datos: se debe describir cada experimento en forma clara y concisa. Seguidamente se deberán presentar los resultados experimentales. Los montajes experimentales deben ser descritos mediante esquemas circuitales, en los cuales deben estar claramente identificados todos los elementos circuitales e instrumentos de medición usando la simbología apropiada. Estos esquemas deben estar identificados con números (por ejemplo "figura 1") y, las referencias que se hagan a éstos a lo largo del informe deberán hacerse a través del número respectivo.

  Los resultados experimentales deben comunicarse a través de tablas, en las cuales además de los datos experimentales, deberán aparecer sus contrapartes teóricos, así como los errores porcentuales respectivos. Cada tabla debe estar identificada con un número (por ejemplo "tabla 4") y las referencias que se hagan a esta se deberán hacer a través del número respectivo.

  Los resultados experimenrtales así como las magnitudes obtenidas en forma teórica y las calculadas a partir de mediciones experimentales se deben colocar en un formato

apropiado para su fácil lectura y análisis. De esta forma se suguiere que siempre se redondeen los resultados a dos decimales y que las magitudes electricas (tensión, corriente, impedancia, admitancia, etc.) asociadas a corriente altena, se reporten usando notación polar.

Es de hacer notar que se deben usar las unidades y la simbología apropiadas. Al final de la guía se anexa una copia de la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 2.823 fechada el día martes 14 de julio de 1981, en la cual se listan las unidades y símbolos del Sistema Métrico Decimal, las cuales constituyen el sistema legal venezolano de medidas. Asimismo en esta Gaceta Oficial se recogen las normas aceptadas para el uso de las unidades y sus símbolos.

Los gráficos se realizarán en papel milimetrado tamaño carta y se anexarán al informe. Cada gráfico debe estar identificado con número (por ejemplo "gráfico 2"), y con un título. Las curvas se deberán trazar con los instrumentos de dibujo apropiados (regla, plantillas curvas, etc.) y en caso de existir una curva teórica, ambas curvas (experimental y teórica) deberán trazarse sobre el mismo eje para efectos de comparación, diferenciándolas con colores.

Las señales observadas en el osciloscopio se deberán dibujar sobre las cuadrículas diseñadas para tal fin, colocando el título respectivo a cada cuadrícula y anotando las escalas de la base de tiempo, de los canales A y/o B y la atenuación de las puntas. En caso de existir dos señales en una cuadrícula hay que diferenciarlas usando colores. Al final de la guía se suministran dos hojas cada una con dos cuadrículas, se sugiere que están sean desprendidas y que, en caso de necesitarse otras cuadrículas, se fotocopien.

Durantre la sesión de laboratorio los datos experimentales: mediciones, observaciones y equipos y materiales utilizados deberán ser anotados en una hoja de datos. Esta hoja de datos debe ser llenada en letra clara, sin enmiendas y en tinta y debe ser firmada por el profesor al finalizar la sesión de laboratorio. Esta hoja de datos debe ser anexada al informe de la laboratorio. Sólo es necesario la elaboracion de una hoja de datos por equipo de trabajo, permitiéndose que los demás miembros del equipo fotocopien la hoja de datos elaborada.

Una vez presentados los resultados experimentales se deberá realizar una discusión de éstos. Si a partir de los datos experimentales se calculan otras magnitudes se deberá indicar un cálculo tipo del cálculo realizado.

- Conclusiones: en la cuales se deberá hacer una completa discusión de los resultados obtenidos, haciendo énfasis en la comparación de los resultados obtenidos con los esperados, las posibles causas de error y las dificultades y posibles mejoras de la metodología experimental empleada.

Práctica No 1

"Mediciones básicas en corriente continua"

Objetivos

Familiarizar a los estudiantes con los conceptos básicos de las mediciones eléctricas y con los instrumentos utilizados en mediciones de corriente continua, sus principios, funcionamiento, ventajas, limitaciones, normas de precisión, tamaño y usos comunes. Estudio del mecanismo de D'Arsonval y su aplicación en el diseño instrumentos de medición en corriente continua.

Trabajo previo al laboratorio

1. Investigue los siguientes tópicos y exponga un resumen por escrito.
   - Mecanismo de D´Arsonval: su construcción, funcionamiento y características resaltantes.
   - Voltímetros DC, amperímetros DC y óhmetros basados en el mecanismo D´Arsonval: su construcción y características resaltantes.
   - Conceptos de precisión, exactitud y sensibilidad de un instrumento de medida.
   - Efecto de carga de un instrumento sobre el sistema a medir.
   - El concepto de regulación de tensión en una red eléctrica.
2. En el circuito mostrado en la figura 1.1, calcule los valores de tensión entre los bornes de cada resistencia.

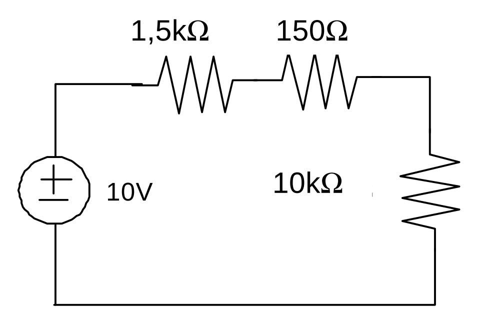


Figura 1.1

3. En el circuito de la figura 1.2, según las denominaciones R, KR, R_1, R_L, calcular literalmente la expresión para obtener cierta tensión deseada V_{AC} en función de una tensión de alimentación V (V_{AC}=F(V)).
4. Calcular los valores de K para que, según las distintas cargas R_L que se van a usar, aparezca cada vez una diferencia de potencial V_{AC} = 5V.

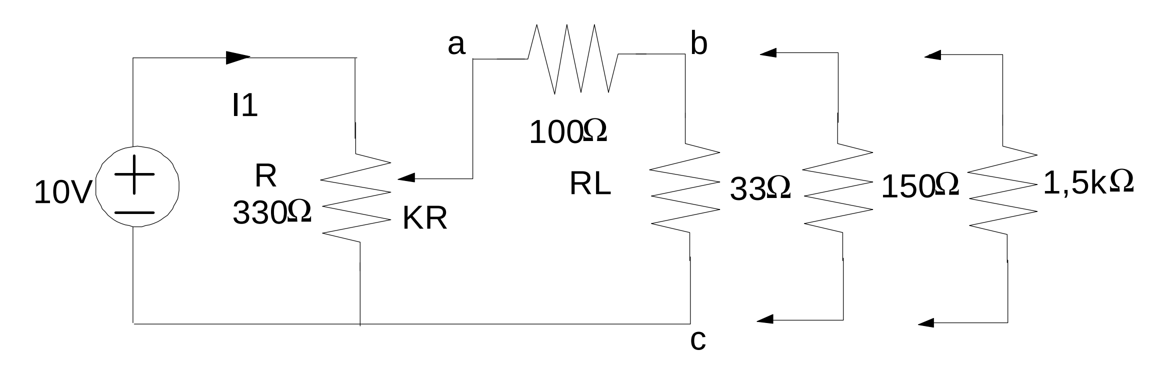


Figura 1.2

5. En el circuito de la figura 1.3, determinar, cuando el interruptor P está abierto, los valores de atenuación (V/V_{AB}) para K = 0,1; 0,5; 0,8 y 1,0. Seguidamente repita el procedimiento anteriormente descrito para el caso en el cual el interruptor P está cerrado. Trace en papel milimetrado la curva teórica de regulación en función de K (Reg =f(K)). Determinar además el valor de la corriente I_L en la carga para estos diferentes valores de K. Trace en papel milimetrado la curva de intensidad en función de K (I_L = f(K)).

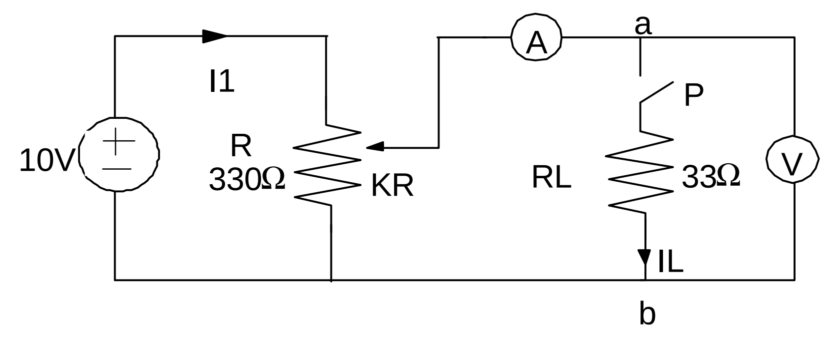


Figura 1.3

6. En el circuito de la figura 1.4, determine el valor de la corriente I_X que pasa por cada resistencia.

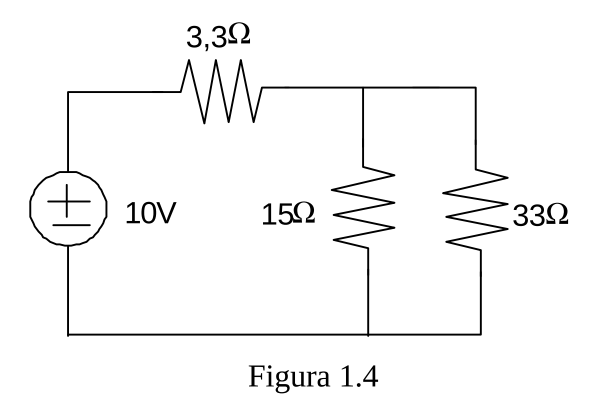


Figura 1.4

7. Se dispone de un miliamperímetro con desviación máxima para una corriente DC de 1mA y una resistencia interna de 140Ω. Calcule y dibuje la realización de:

- Un voltímetro DC con escala de 0 a 10V. Obtener además la conversión que debe existir para pasar de la medida en mA (lectura del miliamperímetro), al valor de tensión correspondiente en volt.
- Un amperímetro DC con escala de 0 a 1A. Obtener además la conversión que debe existir para pasar de la medida en mA (lectura del miliamperímetro), al valor de corriente correspondiente en ampère.
- Un óhmetro disponiendo de una ajuste de cero y que mida 150Ω en media escala. La batería asociada al óhmetro será de 10V. Obtener además la conversión que debe

existir para pasar de la medida en mA (lectura del miliamperímetro), al valor en ohm de la resistencia.

Unir estos tres montajes en uno sólo para obtener un multímetro con un conmutador selector de función

Trabajo de laboratorio

Experimento 1

Tome nota de la sensibilidad del voltímetro a usar. Montar el circuito de la figura 1.1 y medir las tensiones entre los bornes de cada resistencia utilizando para esto la escala "más apropiada" según las características del instrumento a usar y los cálculos teóricos. Anotar las mediciones en una tabla diseñada con el propósito de visualizar los valores teóricos, los valores experimentales, los errores porcentuales asociados a cada medida y las escalas usadas en cada caso. Explicar en las observaciones las posibles causas de los errores. ¿ Por qué la escala escogida es la apropiada?. ¿Como se puede corregir el error?.

Experimento 2

Armar el circuito de la figura 1.2 y medir las tensiones V_{AB} para las tres cargas mostradas cuando se ajustó K para obtener V_{AC}=5V. Medir además las corrientes para los tres diferentes valores de R_L y determinar los valores de K obtenidos en la práctica para satisfacer los resultados deseados. Diseñar una tabla que contenga todas estas informaciones: valores teóricos y prácticos para los diferentes V, I y K, así como los errores porcentuales.

Experimento 3

Armar el circuito de la figura 1.3 y para diferentes valores de K (0,1; 0,5; 0,8 y 1,0), medir la tensión V_{AB} y la corriente I_L, con el interruptor P abierto y con el interruptor P cerrado. Tabular estos datos. Trazar las curvas experimentales $I_L = f(K)$ y $Reg = f(K)$ y explicar con comentarios la diferencia que exista entre ellas analizando el efecto producido por la carga R_L.

Experimento 4

Armar el circuito de la figura 1.4 y medir las corrientes en las diferentes ramas así como las tensiones entre los bornes de las resistencias con los aparatos que fueron diseñados en el trabajo previo al laboratorio. Luego de hacer estas mismas medidas con el amperímetro DC y el voltímetro DC diseñados por usted. Tabular estos datos. Desconectar el circuito y medir las resistencias con el óhmetro que fue diseñado y después con el disponible en el laboratorio; comparar las medidas con el valor nominal. Tabular todas estas medidas y comentar los resultados así como las posibles causas de error. Tome en cuenta que para los instrumentos diseñados por usted los valores de las resistencias a usar serán los más próximos a los calculados teóricamente según la disposición que exista de ellos en el laboratorio, recuerde tomar esto en cuenta en las ecuaciones respectivas para pasar de la lectura en mA del miliamperímetro a la respectiva en volt ó en ohm según sea el caso.

Bibliografía recomendada

BERNAL, Enrique "Desarrollo del concepto de circuito", Tomo I , 1985.

ERNST, Frank "Electrical measurement analysis", Ed. Mc Graw-Hill, Nueva York, USA, 1959. Capítulos 3 y 5

Práctica No 2

"Mediciones básicas en corriente alterna"

Objetivos

Estudiar el funcionamiento y uso de los instrumentos de corriente alterna, estableciendo las ventajas y limitaciones de las diferentes tecnologías existentes (hierro móvil, bobina móvil y electrónico). Estudio del funcionamiento y uso del osciloscopio como instrumento de medición.

Trabajo previo al laboratorio

1. Investigue los siguientes tópicos y exponga un resumen por escrito
   - Valor pico de una señal, valor pico a pico de una señal, valor promedio de una señal y valor eficaz (valor RMS) de una señal.
   - Diversas tecnologías existentes en los instrumentos para mediciones en corriente alterna (hierro móvil, bobina móvil, electrónico, electrostático, etc.), su funcionamiento, características y uso.
   - El osciloscopio: principios de funcionamiento y su uso.
   - El efecto pelicular
2. Para el circuito de la figura 2.1, calcular los valores de tensión y corriente en cada resistencia, si la tensión de salida del variac se ajusta a 20V.

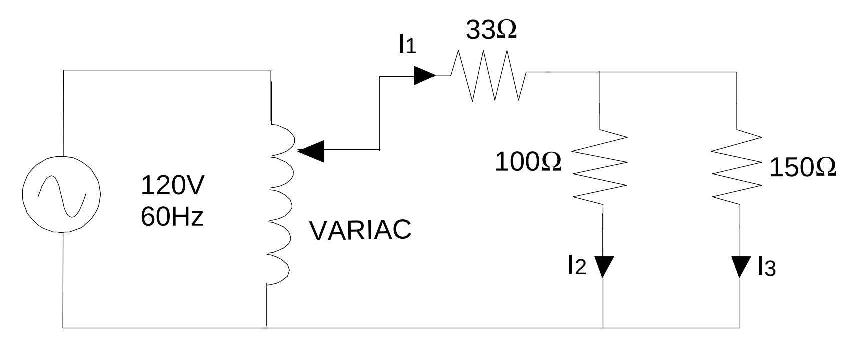


Figura 2.1

3. Para el circuito mostrado en la figura 2.2 calcular la tensión y corriente eficaces sobre la carga (resistencia de 1,5kΩ)

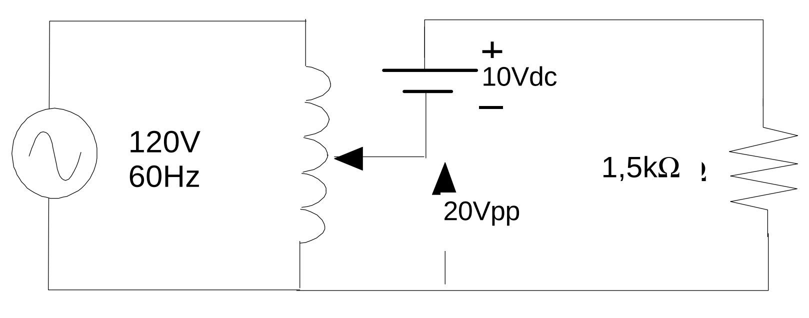


Figura 2.2

4. Calcular: valor eficaz, valor medio y valor pico para una señal:
   - sinusoidal
   - cuadrada
   - triangular

   (todas estas señales con una cierta componente DC)
5. En el circuito de la figura 2.3, el generador de señales tiene a la salida una señal de onda cuadrada con frecuencia de 1kHz. Sobre una carga R_L = 1,5kΩ, se tomaron las siguientes medidas:

Valor pico a pico (Vpp) = 10V,   Valor medio = 13V

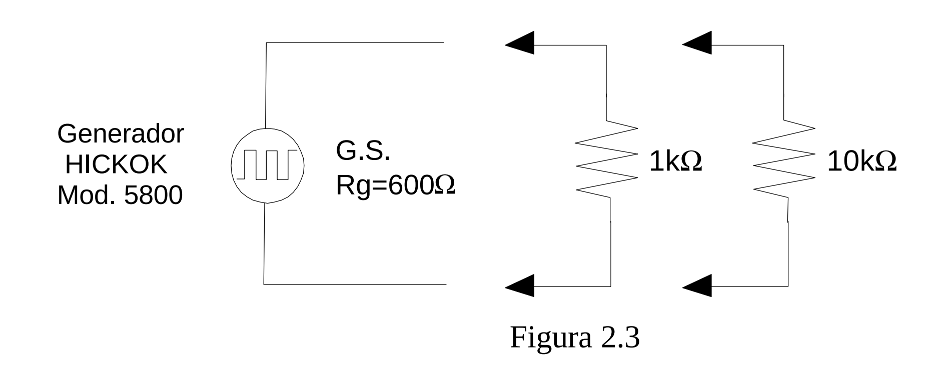


Figura 2.3

Calcule el valor eficaz (Vrms) de la tensión de la señal medida sobre la carga. Indicar cuales fueron los instrumentos que usted supone, se utilizaron para efectuar dichas mediciones (justifique su respuesta). Si con un condensador apropiado se desacopla el nivel DC (Vdc=0) calcule el valor eficaz (Vrms) de la nueva señal. ¿Que valor mediría un instrumento que responde a un valor medio con un rectificador de onda completa?. ¿Cual es el factor de corrección que hay que aplicar para corregir esta medida para obtener el valor eficaz de la señal?.

6. En el circuito de la figura 2.4. Determinar cual es la forma de la señal entre los bornes de la carga R_L=10kΩ, calcular además el valor eficaz de la señal. ¿Cual es el factor de corrección que hay que aplicar si se va a medir con un instrumento DC con rectificador de onda completa?. Si se dispone de un variac y dos diodos, ¿cómo sería el circuito para obtener doble rectificación positiva (rectificación en onda completa)?. Explique.

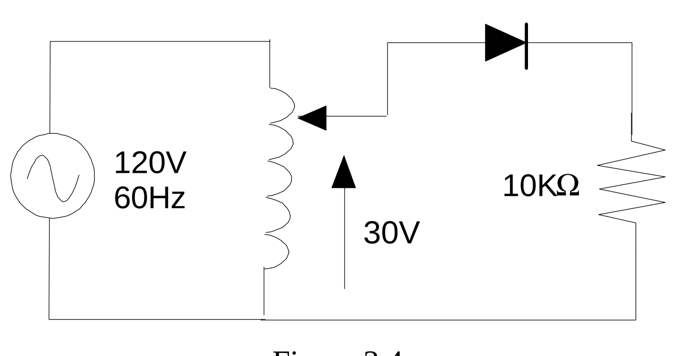


Figura 2.4

Trabajo de laboratorio

Experimento 1

Consulte al profesor sobre el uso del sistema de tensiones para alimentacion de los circuitos del cual está provisto el mesón de trabajo, así como las medidas de seguridad asociadas. Consulte al profesor sobre la conexión y uso del variac. Armar el circuito de la figura 2.1, ajustando el variac para obtener una tensión de 20V. Tomar las lecturas de todas las tensiones y corrientes para las diferentes resistencias, utilizando las escalas adecuadas

según sus cálculos. Comparar los resultados obtenidos con los teóricos. Calcular el error porcentual y explicar cualquier discrepancia. Utilizar los instrumentos de bobina móvil con rectificador (D'arsonval con rectificador ó AC), electrónico, hierro móvil y D'Arsonval (DC). Explique cuál de los instrumentos utilizados es el más "exacto" para cada una de las medidas.

Experimento 2

Para el circuito mostrado en la figura 2.2, medir el valor eficaz de la tensión en la carga con el instrumento con mecanismo de hierro móvil y con el instrumento electrónico (multímetro digital). Consulte al profesor ó preparador sobre la conexión del variac, no energice sin autorización. ¿Cual de estos dos instrumentos es el más apropiado para realizar la medición y por qué?.

Varíe la componente DC ¿que observa en los instrumentos de medida?. Varíe la componente AC. ¿Que observa en los instrumentos de medida?.

Experimento 3

Armar el circuito de la figura 2.3, y ajustar el generador de señales hasta obtener a la salida (sin carga) una onda sinusoidal con frecuencia 1kHz, 10Vpp y nivel DC igual cero. Conectar cada una de las resistencias de carga entre los bornes a y b para medir y visualizar la forma de onda obtenida en cada uno de los casos. Dibujar la señal observada, con las escalas usadas para el canal vertical y la base de tiempo; indique los valores Vpp, Vdc y período de la señal. Repita el procedimiento colocándole un nivel DC=Vp.

Experimento 4

Use el montaje del experimento anterior con R_L = 100Ω. Ajuste en el generador una onda cuadrada, con las siguientes características: 10Vpp y Vdc=0V. Dibujar la señal observada con las escalas usadas.

Mida el valor eficaz de la tensión con el voltímetro electrónico, con el de hierro móvil y con uno de bobina móvil con rectificador. Explique las diferencias; corrija las lecturas y diga cual de los dos instrumentos es el más adecuado para esta medición. ¿Que observa en la forma de onda obtenida al aumentar paulatinamente la frecuencia de la señal?. Explique.

Experimento 5

Armar el circuito de la figura 2.4 y ajustar la salida del variac hasta obtener una tensión 30V. Medir la tensión entre los bornes de la carga R_L = 10kΩ con el voltímetro electrónico y el de hierro móvil; comparar los resultados obtenidos con los resultados teóricos. ¿Que medida se debe corregir y porqué?. Observar la forma de onda sobre la resistencia. Observar la tensión de la señal complementaria (señal sobre el diodo) conectando ambas puntas del osciloscopio en los sitios apropiados, consulte con el profesor ó preparador antes de energizar. (¡Tenga cuidado con la conexión a tierra!). Dibuje todas las señales observadas.

Experimento 6

Monte el circuito para obtener doble rectificación usando para esto dos diodos y un variac. Tenga cuidado con la conexión del variac; revise el estado de los diodos antes de realizar el montaje. Consulte con el profesor ó preparador antes de energizar. Observe la señal rectificada en el osciloscopio, ajuste el cursor hasta obtener una rectificación de onda completa. Dibuje lo observado.

Bibliografía recomendada

ERNST, Frank "Electrical measurement analysis", Ed. Mc Graw-Hill, Nueva York, USA, 1959. Capítulos 11 y 12.

HARRIS, Forest "Electrical measuraments", Ed. John Wiley & Sons, Inc. séptima edición, USA,1966, Capítulo 14.

HUBERT, Charles "Circuitos eléctricos CA/CC: enfoque integrado", Ed. Mc Graw-Hill, México, 1986, Capítulo 23.

Símbolos de instrumentos de medición

Corriente continua		Instrumento electrónico	
Corriente alterna		Instrumento electrostático	
Corriente continua y corriente alterna		Instrumento de hierro móvil	
Corriente alterna trifásica		Instrumento de paletas vibratorias	
Corriente alterna, con rango útil de frecuencias de 20 a 1000Hz	20-1000	Instrumento electrodinámico con circuito magnético de hierro	
Tensión de prueba de 500V		Instrumento de bobina móvil	
No está previsto para soportar una tensión de prueba	0	Instrumento de bobina móvil con termopar	
Tensión de prueba superior a 500V (en kV)	2	Instrumento de bobina móvil con rectificador	
Posición de funcionamiento vertical		Error máximo de cada lectura como porcentaje de la máxima indicación de la escala, según sea la medida de CC o CA	0,5 1.0
Posición de funcionamiento horizontal		Cada lectura tiene un error de 1,5% de la indicación máxima de la escala usada	1,5
Posición de funcionamiento	30		

inclinada

Práctica No 3

"Estudio de circuitos de primer orden en régimen transitorio"

Objetivos

Estudiar la respuesta transitoria en circuitos RL y RC y sus aplicaciones en osciladores elementales.

Trabajo previo al laboratorio

1. Investigue sobre los siguientes tópicos y exponga un resumen escrito
   - Respuesta transitoria de circuitos de primer orden.
   - Circuitos diferenciadores e integradores basados en la respuesta transitoria de circuitos RL y RC.
2. En el circuito de la figura 3.1, después de estar el interruptor en la posición I por largo tiempo, este se conmuta a la posición II. Calcular analíticamente el tiempo t_1 necesario para que el condensador tenga el 25% de la tensión inicial, si el voltímetro tiene la siguiente característica $R_i = 10M\Omega$.

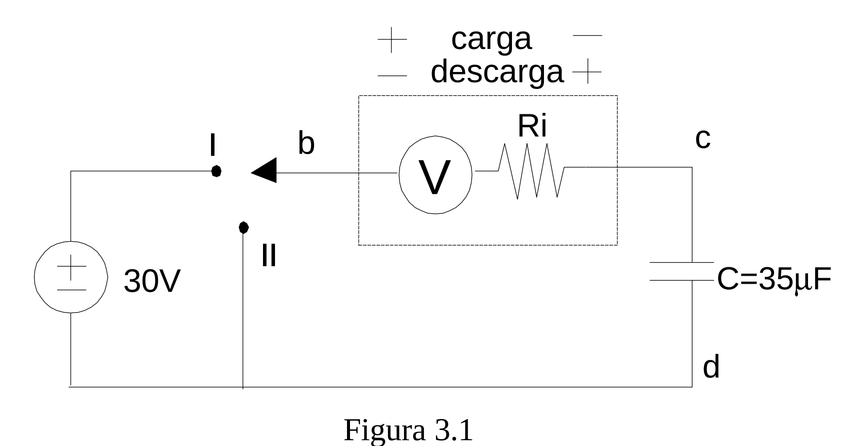


Figura 3.1

3. Para un condensador de 35μF cargado al inicio a un valor de 30V, calcular analíticamente la curva de descarga en función del tiempo, representando los valores de

tensión para t = 10, 30 y 50 segundos y también para t = 1, 2, 3, 4, 5 y 10 minutos, si la descarga se hace a través de una resistencia de 10MΩ. Calcular analíticamente la curva de carga de un condensador de 35μF en serie con una resistencia de 10MΩ, en función del tiempo, si al circuito se le aplica una tensión de 30V. Trazar las curvas de carga y descarga separadamente en papel milimetrado.

4. Un circuito RL serie está alimentado por una generador de señales el cual a su salida produce una onda cuadrada de frecuencia 1500Hz y que posee una resistencia interna de 600Ω, tal como se muestra en la figura 3.2; si la resistencia es de 30Ω y la inductancia de 35mH, ¿cual es la constante de tiempo del circuito?. Realizar un esquema gráfico de la forma de onda de la corriente, expresando la escala de tiempo en función de la constante de tiempo del circuito.

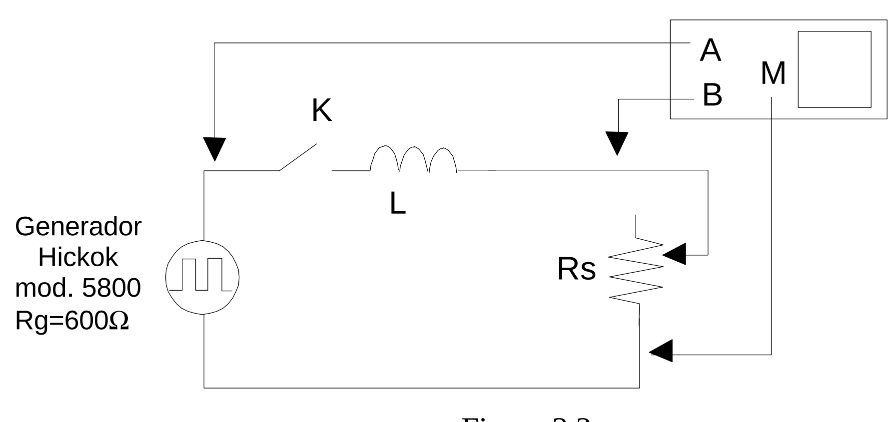


Figura 3.2

5. En el circuito de la figura 3.3, el generador de señal cuadrada está conectado a un circuito “diferenciador”; determinar la constante de tiempo del circuito. Encontrar la relación que existe entre la señal V_{AC} (salida del generador) y la señal V_{BC} (en la carga R_L). Dibujar la forma de ambas ondas en las cuadriculas para tal fin, usando las mismas escalas de tiempo para ambas. ¿Cuales son las condiciones para que un circuito se comporte como un diferenciador?

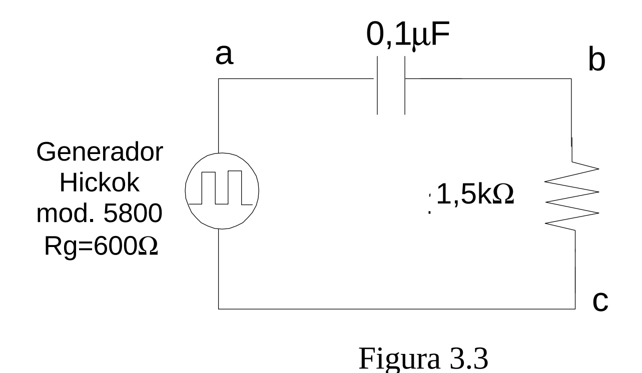


Figura 3.3

Trabajo de laboratorio

<u>Experimento 1. Carga del condensador)</u>

Armar el circuito de la figura 3.1, con C=35μF. Asegúrese que la tensión de alimentación sea exactamente 30V; colocar el voltímetro con una "escala conveniente" en la posición mencionada y el conmutador en la posición II. Cambiar el conmutador a la posición I y medir los tiempos para los cuales la tensión V_{CD} alcanza el 25%, el 50% y el 75% del valor final de V, y el tiempo para el cual V_{CD} =V.

<u>Cuidado</u>, debido a la ubicación del voltímetro, la tensión V_{CD} no se puede leer directamente, sino deducirse a partir de las lecturas. Cuidado también con la polaridad del multímetro; al cambiar la posición del conmutador, debe cambiar la polaridad del multímetro.

<u>NOTA:</u> Si es necesario reiniciar la medida, es obligatorio tener el condensador totalmente descargado; para ello, colocar el conmutador en la posición II y con una resistencia lo suficientemente baja en paralelo al condensador, descargado hasta asegurarse que V_{CD} = 0V. <u>No descargue el condensador cotocircuitando sus bornes</u>, esto lo deteriora y reduce su vida útil.

Dibuje la curva experimental de carga conjuntamente con el trazado teórico. Indique todos los parametros de interés de los mismos.

Experimento 2. (Descarga del condensador)

En el montaje de la figura 3.1, con el conmutador todavía en la posición I, cortocicuitar momentáneamente con un cable los puntos b y c para cargar al condensador al valor final V=30V. En esta condición el voltímetro debe indicar 0V. Cambiar la polaridad del voltímetro y colocar el conmutador en la posición II. Medir los tiempos para los cuales V_{CD} = 75%, 50% y 25% del valor final, y el tiempo para el cual V_{CD} = 0V. Calcular la resistencia interna del voltímetro y la constante de tiempo del circuito en base a los datos obtenidos.

Dibuje la curva experimental de descarga conjuntamente con el trazado teórico. Indique todos los parametros de interés de los mismos.

Experimento 3

Se dispone de una bobina de inductancia L=35mH (bobina de 1200 espiras, sin núcleo) y L=232mH (bobina de 1200 espiras, con núcleo simple). Medir con el óhmetro su resistencia interna R_L. Ajustar el reóstato a un valor de R_S =30Ω y tomar nota de la resistencia interna del generador R_G . Armar el circuito de la figura 3.2 y ajustar el generador en su tensión máxima a una frecuencia adecuada. Después de cerrar el interruptor K, analizar la forma de onda obtenida en el osciloscopio. Dibuje las señales observadas.

Medir el valor de la constante de tiempo y deducir el valor real de la inductancia de la bobina en vacío y luego utilizando el núcleo simple. Observar la variación de la forma de onda en la pantalla del osciloscopio, ajustando el reóstato poco a poco. Realizar lo mismo pero ahora manteniendo fijo el reóstato y variando la frecuencia del generador.

Experimento 4

Monte el circuito de la figura 3.3 y ajustar el generador de señales a una frecuencia de 200Hz. Conecte el osciloscopio entre los bornes de la carga R_L=1,5kΩ, y tomar las medidas para determinar: período, frecuencia y el valor de la amplitud pico a pico. Dibujar la forma de onda obtenida. ¿En base a la forma de onda observada ¿Qué nombre recibiría este circuito?. Explique.

Experimento 5. Oscilador de relajación

Armar el circuito de la figura 3.4-a para determinar Vi y Ve que son las tensiones de ignición y extinción de la lámpara de neón. Sean Vc e Ic la tensión y corriente de conducción respectivamente; determinar el valor de la resistencia de la lámpara de neón durante la conducción.

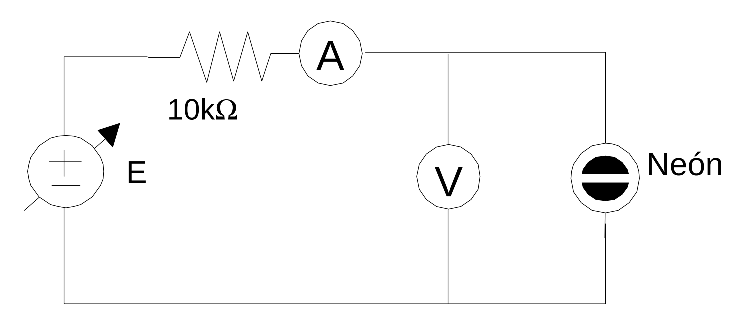


Figura 3.4-a

Armar el circuito de la figura 3.4-b; aumentar la tensión de la fuente hasta que exista una oscilación sostenida (la lámpara de neón se enciende y se apaga). Observe la forma de onda de la señal sobre el condensador con ayuda del osciloscopio (de ser necesario use una punta para osciloscopio atenuada), mida el período (T) de la señal. Desconecte el circuito y mida la tensión de la fuente (E). Compare el período medido de la señal con el teórico, el cual viene dado por la expresión :

$$T = (RC)\ln\left(\frac{E-Ve}{E-Vi}\right)$$

(En base a la forma de onda observada y a la configuración del circuito deduzca la anterior expresión)

Cambie la resistencia de 1MΩ por una de 10MΩ, observe el comportamiento del circuito.

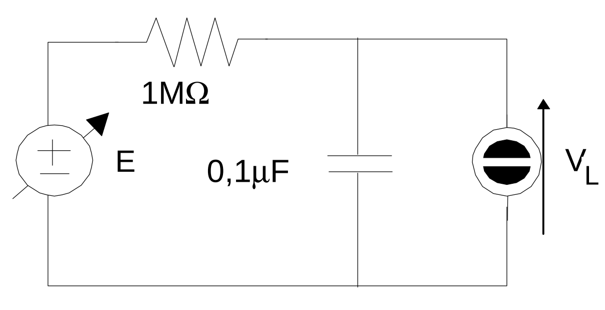


Figura 3.4-b

Bibliografía recomendada

HUBERT, Charles "Circuitos eléctricos CA/CC: enfoque integrado", Ed. Mc. Graw-Hill, México, 1986. Capítulo 6.

MIT "Electric circuits", The MIT Press, treceava edición, Cambridge, USA,1963. Capítulo III.

KERCHNER, Roussell "Cicuitos en corriente alterna", Ed. CECSA, México, 1962, pág. 658.

Práctica No 4

“Determinación de impedancias”

Objetivos

Estudiar las diferentes técnicas para la medición de impedancias a diferentes frecuencias (método de las tres tensiones y de las tres corrientes). Medición de desfasajes entre señales sinusoidales mediante el uso del osciloscopio (métodos convencional y figuras de Lissajous).

Trabajo previo al laboratorio

1. En el circuito mostrado en la figura 4.1, calcular los valores de tensión y corriente para una salida en el variac de 30V y 40 V respectivamente. Calcular para los dos casos el ángulo de desfasaje entre la corriente I y la tensión aplicada V. ¿Qué impedancia presenta el condensador C?. Exprese sus resultados en forma polar.

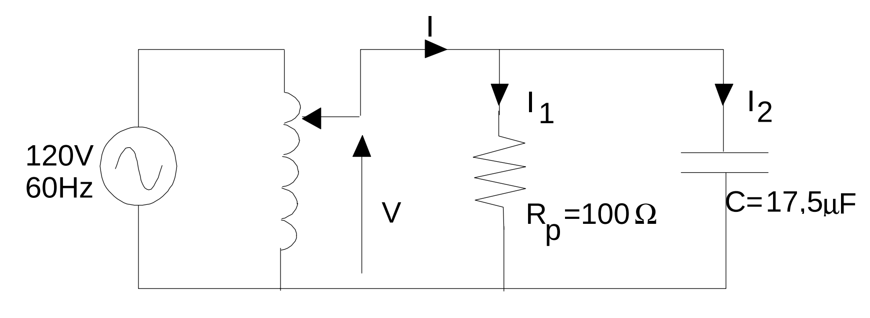


Figura 4.1

2. En el circuito de la figura 4.2, calcular los valores de tensión y corriente para una salida en el variac de 30V y 40V respectivamente. Calcular para los dos casos el ángulo de desfasaje entre la corriente I y la tensión aplicada V.
3. Investigar las diferentes formas de medir desfasaje con el osciloscopio. (2 formas al menos)

4. Analizar en el circuito de la figura 4.3, como se puede medir un condensador desconocido Cx. Se dispone de condensadores de 17,5µF y 35µF y de un potenciómetro de 330Ω. Tomar Cx=17,5µF.

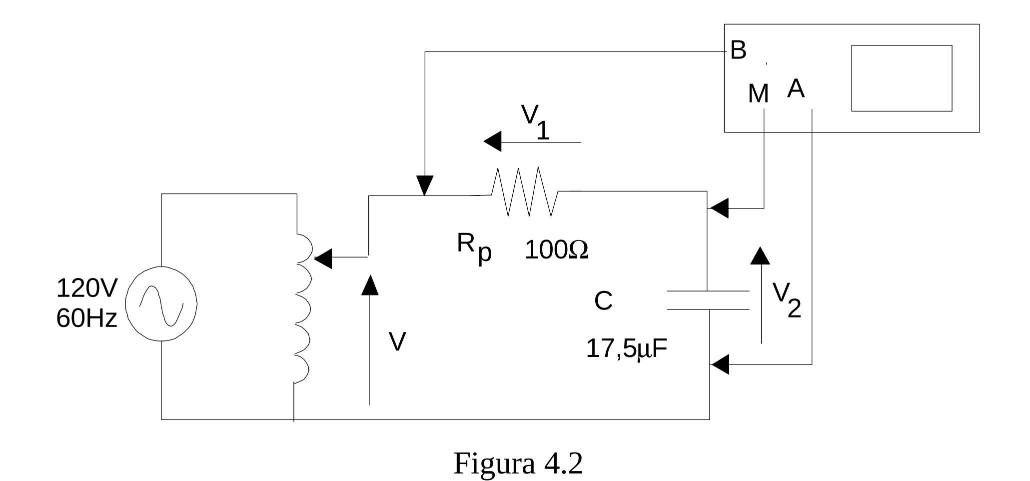


Figura 4.2

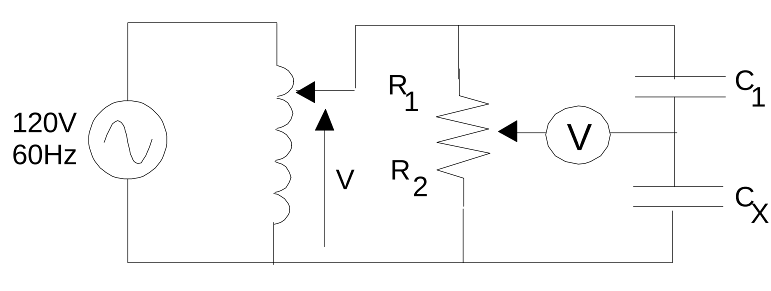


Figura 4.3

Trabajo de laboratorio

Experimento 1

Armar el circuito de la figura 4.1. Como resistencia de 100Ω use un reóstato de 100Ω o uno de 330Ω ajustado en forma apropiada. Medir los valores de las corrientes del circuito para una tensión de salida en el variac de 30V y 40V. Observe si $\sum\left|\bar{I}_i\right| = \left|\bar{I}_t\right|$. ¿Qué concluye?. Por él método de las corrientes determine el valor de la impedancia de C a esa frecuencia.

Experimento 2

Armar el circuito de la figura 4.2. Medir Rp con el óhmetro. Medir los valores de las tensiones del circuito para una tensión de salida en el variac de 30V y 40V. Observe si . $\sum\left|\overline{V}_i\right| = \left|\overline{V}_t\right|$ ¿Qué concluye?. Por el método de las tres tensiones determine el valor de la impedancia del condensador C. ¿Qué método es mejor para medir la impedancia de C?. Justifique. Conecte las puntas del osciloscopio como se indica y mida el desfasaje. ¿Qué desfasaje es el que está midiendo y cómo se corresponde con lo que ha calculado?.

Experimento 3

Armar el circuito mostrado en la figura 4.4 y medir las tensiones presentes con el voltímetro electrónico para diferentes valores de frecuencia: f:=0,6;1;2;5 y 10kHz obtenidas con el generador de señales. Conectar el osciloscopio como se muestra y ajustar:

- El canal A en AC y AMP/DIV=1V
- El canal B en AC y AMP/DIV=1V
- La base de tiempo TIME/DIV= X VIA Y MAGN x 1

Mantener constante la amplitud de V=6Vpp y variar la frecuencia f del generador desde f=100Hz hasta $f=f_{máx}$. Según la forma la curva obtenida en la pantalla del osciloscopio, deducir cual es la variación del desfasaje de la corriente I con respecto a la tensión V en función de la frecuencia. Explique.

Para las frecuencias de 1kHz, 2kHz y 3kHz mida el desfasaje y calcule la impedancia que domina.

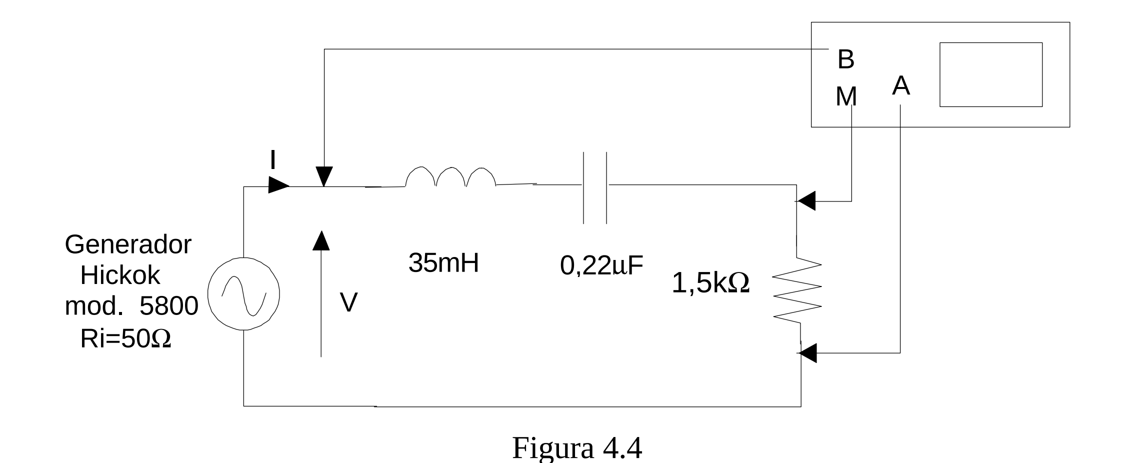


Figura 4.4

Experimento 4

Armar el circuito de la figura 4.5. Medir Rp con el óhmetro. Tomar las medidas necesarias para determinar el valor de la impedancia Z_1 (formada por la bobina de 600 espiras en vacío) para una frecuencia f=100Hz. Repetir las mediciones para las frecuencias de f=1, 5 y 10kHz. Conecte las puntas del osciloscopio de forma adecuada y mida el desfasaje. (¡Cuidado con la masa del osciloscopio!)

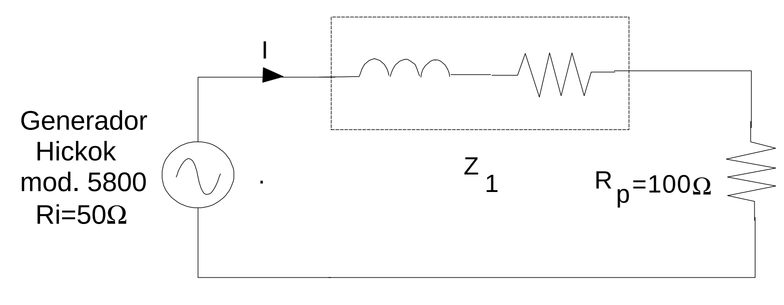


Figura 4.5

Experimento 5

Armar el circuito mostrado en la figura 4.6 y tomar las medidas necesarias para determinar el valor de una impedancia Z_2 formada por un condensador de 17,5μF en serie con una resistencia de 33Ω.

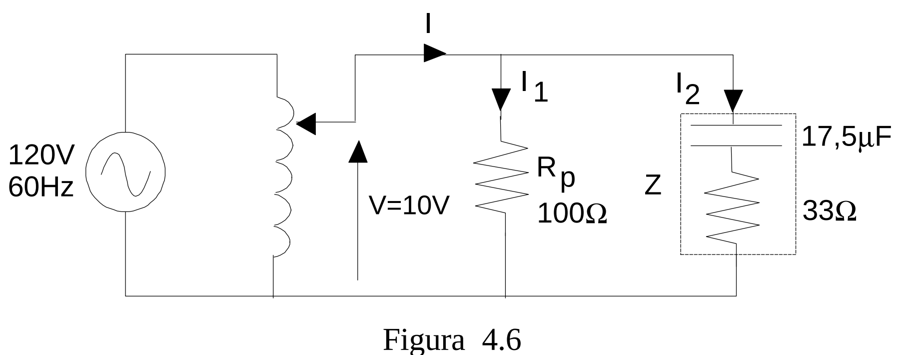


Figura 4.6

Experimento 6

Armar el circuito mostrado en la figura 4.3. Equilibrar el puente y medir las resistencias R_1 y R_2 de las dos secciones del potenciómetro de 330Ω. Si C_1 es el condensador conocido, deducir el valor del condensador Cx.

Comentar o hacer observaciones con respecto a los resultados obtenidos durante la práctica. En la discusión de los resultados analizar cada uno de los circuitos utilizados y dibujar a escala sus diagramas fasoriales.

Práctica No 5

"Medición de potencia y energía"

Objetivos

Medición de potencia y energía en impedancias de carácter inductivo o capacitivo. Estudio de la corrección del factor de potencia.

Trabajo previo al laboratorio

1. Investigue sobre los siguientes tópicos y exponga un resumen por escrito
   - ¿Qué es el factor de potencia?
   - Como se corrige el factor de potencia y cuales son las ventajas que obtienen las industrias al corregirlo
2. En el circuito de la figura 5.1, calcular la corriente que mide el amperímetro y la potencia activa medida por el vatímetro en la carga. La resistencia interna del amperímetro y de la bobina amperimétrica pueden asumirse despreciables. La resistencia de la bobina voltimétrica del vatímetro es:
   - Riv = 12kΩ para la escala de 0 -120V
   - Riv = 24kΩ para la escala de 0 -240V

   Calcular la potencia reactiva y el factor de potencia en la carga.

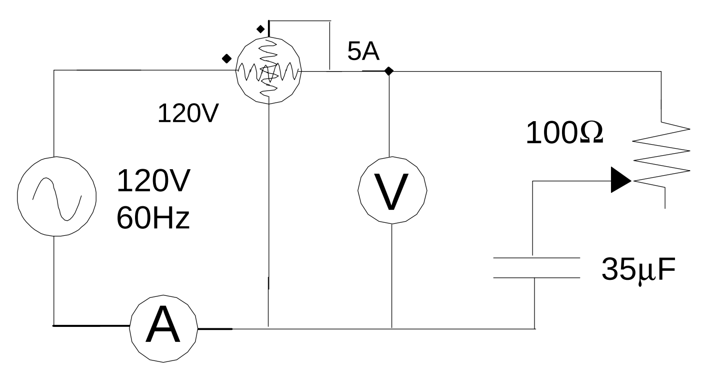


Figura 5.1

3. En el circuito de la figura 5.2, calcular la corriente que indica el amperímetro, la potencia activa medida por el vatímetro y el factor de potencia en la carga antes y después de conectar los condensadores. ¨Que observa?. Analice los resultados.
(Para las inductancias de 35mH use bobinas de 1200 espiras sin nucleo)

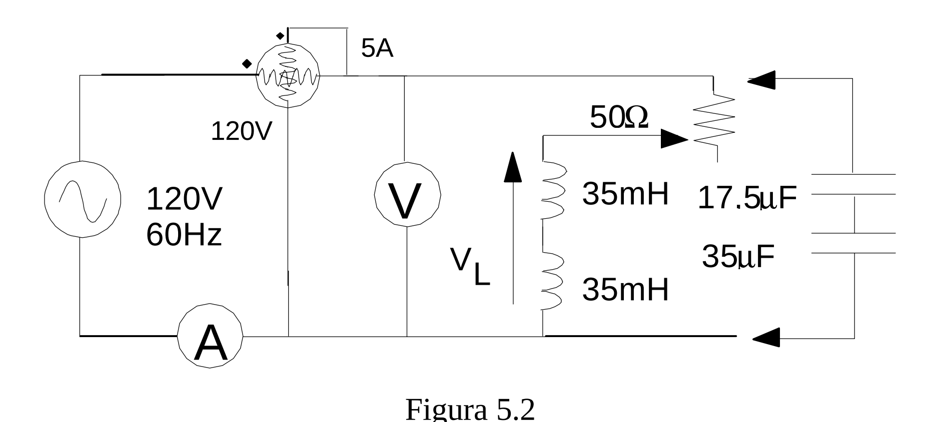


Figura 5.2

4. Hacer un estimado de la carga total que usa en su casa o apartamento; promediar y calcular los kWh que consumirá en un mes (o bimestre según el período de facturación), para después aplicar la tarifa de la operadora respectiva (C.A. La Electricidad de Caracas, CADAFE, etc.). Comparar los resultados con los del recibo. (Vea el listado de cargas típicas, al final de esta práctica. Incluya una fotocopia del recibo). Investigue como es el método de calculo para la tarifa eléctrica usado por las operadoras para usuarios no residenciales (comerciales e industriales)

Trabajo de laboratorio

<u>Experimento 1</u>

En el vátimetro suministrado por el instructor, verifique cual es la bobina amperimétrica y cual es la voltimétrica. Medir la resistencia Ri de la bobina voltimétrica. Tome nota de los datos de la placa y verifique la forma de conexión allí representada.

Experimento 2

Monte el circuito mostrado en la figura 5.1, use como resistencia de 100Ω un reóstato de 330Ω ajustando el cursor en la posición adecuada. Mida la potencia activa y la corriente; comprobar los resultados teóricos calculados en el trabajo previo al laboratorio. Indicar los errores porcentuales y analizar las discrepancias observadas.

Experimento 3

Monte el circuito de la figura 5.2 (use como resistencia de 50Ω un reóstato de 100Ω ajustando el cursor a la posición adecuada. Las bobinas de 35mH corresponden a las bobinas de 1200 espiras). Mida la corriente, la potencia activa y las tensiones en los inductores (V_L) y en la resistencia, antes y después de conectar los condensadores en paralelo con la carga. De las mediciones realizadas, calcular la impedancia de la carga y el factor de potencia, antes y después de conectar los condensadores en paralelo. Comparar los resultados experimentales con los teóricos.

Experimento 4

Estudiar cuidadosamente el contador de consumo de energía, así como la placa de características. Conectarlo a una carga de potencia conocida (por ejemplo una lámpara incandescente), según las conexiones mostradas en la figura 5.3 y calibrar el contador mediante varias vueltas. ¿Porqué?.

Experimento 5

Conectar el contador de energía una carga que le entregará al instructor y mida el tiempo que tarda el disco en dar 6 vueltas; calcule el consumo de energía en ese tiempo y mediante los cálculos determine si el contador está calibrado.

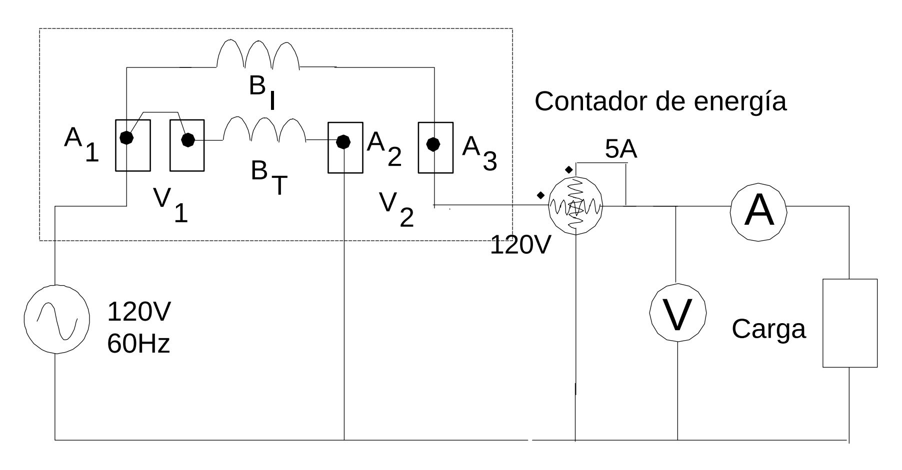


Figura 5.3

Bibliografía recomendada

HUBERT, Charles "Circuitos eléctricos CA/CC: enfoque integrado", Ed. Mc Graw-Hill, México, 1986. Capítulo 13.

HARRIS, Forest "Electrical measuraments", Ed. John Wiley & Sons, Inc. séptima edición, USA,1966, Capítulo 12.

CADAFE "Guía industrial para la corección del factor de potencia", 1978

Lista de aparatos típicos para residencias y sus cargas típicas[1]

Aparato	Carga por aparato (W)
Luz de techo	100
Cocina eléctrica completa	11.000
Cocina eléctrica sin horno, 4 hornillas	6.000
Cocina eléctrica sin horno, 2 hornillas	3.000
Horno eléctrico	4.500
Tostador de pan / sartén eléctrico	1.100
Cafetera eléctrica	800
Nevera	300
Lavaplatos	1.500
Plancha	1.000
Secadora de ropa (240V)	5.000
Secadora de ropa (120V)	1.600
Televisor	300
Aspiradora / pulidora	400
Aire acondicionado 1/2HP	900
Aire acondicionado 3/4HP	1.400
Aire acondicionado 1HP	1.600
Aire acondicionado 1 1/2HP	2.150
Aire acondicionado 3HP	4.000
Aire acondicionado 5HP	6.500
Calentador de agua	3.000
Luces de techo o de pared para terrazas, azotea, patios	100
Secador de pelo	250

[1]Tomado de : Manual para el diseño de instalaciones eléctricas en residencias. C.A. La Electricidad de Caracas, quinta edición, Caracas, 1974.

Práctica No 6

“El transformador monofásico”

Objetivos

Estudiar los principios de funcionamiento del transformador monofásico así como su circuito equivalente. Realización de las pruebas necesarias para la determinación de los parámetros del modelo equivalente. Estudio de los diferentes mecanismos de pérdidas en los transformadores.

Trabajo previo al laboratorio

1. Investigue sobre los siguientes tópicos y exponga un resumen por escrito
   - Principios de funcionamiento de los transformadores
   - Diferencias entre el transformador “ideal” y el transformador “real”
   - Modelo circuital equivalente del transformador y pruebas (mediciones) necesarias para la determinación de los parámetros de dicho modelo.
   - Mecanismos de pérdidas (de potencia) existentes en los transformadores

Aplicaciones de los transformadores en las diferentes áreas de la ingeniería eléctrica

Trabajo de laboratorio

<u>Experimento 1</u>

Solicite al instructor el transformador bajo estudio, tome nota de la información contenida en la placa del mismo. Consulte al instructor sobre las posibles conexiones del mismo. Realice la conexión necesaria a fin de obtener una relación de transformación de 1:2 con tensiones de 115V/230V, tal conexión se muestra en la figura 6.1. Los terminales 1-2 corresponden al lado de baja tensión y los terminales 3-4 corresponden al lado de alta tensión.

Determine las corrientes nominales en los devanados de alta y baja tensión. Compruebe el funcionamiento del transformador aplicando con ayuda del variac una tensión de 115V en el lado de baja tensión y midiendo la tensión que se produce en el lado de alta tensión. Determine la relación de transformación práctica y comparela con la teórica. Explique.

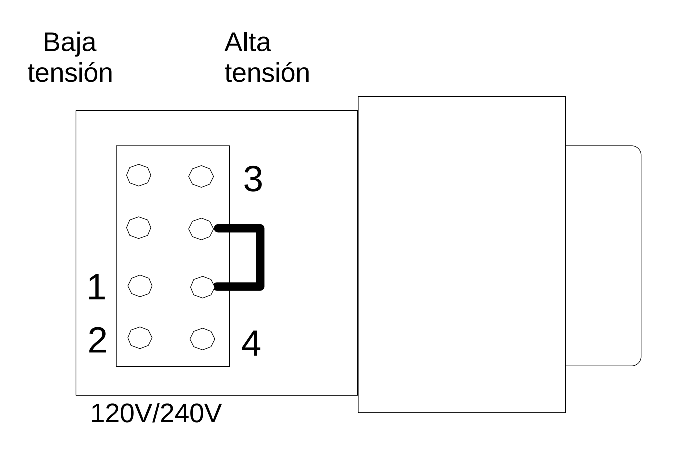


Figura 6.1

Experimento 2

Determine la posición de los puntos que determinan la polaridad de las tensiones inducidas en el transformador. Para esto realice el montaje mostrado en la figura 6.2, en este montaje se fija el punto de uno de los devanados (en este caso se fija el punto del devanado de baja tensión en la posición indicada) la cual se considera cierta, y se fija tentativamente la posición del punto en el otro devanado (en este caso el devanado de alta tensión, tal como se indica) la cual deberá ser verificada mediante mediciones. En caso de que la tensión ΔV sea 50V la polaridad será sustractiva, por lo cual la posición del punto en el devanado de alta tensión será contraria a la supuesta inicialmente; en caso de que ΔV sea 150V la polaridad será aditiva en cuyo caso el punto del devanado secundario está ubicado en la posición supuesta inicialmente. Tome la precaución de elegir la escala adecuada en el voltímetro. Explique el basamento teórico del método antes descrito.

Experimento 3

En este experimento se realizará la prueba de circuito abierto. Para ello monte el circuito mostrado en la figura 6.3. Luego siga los siguientes pasos:

- Por medio del cursor del variac varíe lleve la tensión aplicada al devanado de baja tensión hasta su valor nominal (115V). Comience desde 0V hasta progresivamente llegar hasta 115V.
- Observe, usando el osciloscopio, la forma de onda de la corriente absorbida por el transformador (corriente de vacío) a través de la forma de onda de la tensión sobre la resistencia R_S. Dibújela y anote las escalas usadas. ¿Con que tipo de instrumento (tipo de tecnología) se debería medir el valor eficaz de la corriente de vacío?. Explique. Conecte en el otro canal del osciloscopio la tensión aplicada al devanado del transformador. Recuerde conectar la tierra del osciloscopio en el punto apropiado. Observe la forma de onda y mida el desfasaje entre las dos señales.
- Usando un instrumento apropiado, consecuentemente con la selección hecha en el punto anterior, mida la corriente de vacío I_O
- Mida la potencia absorbida por el transformador en vacío P_O

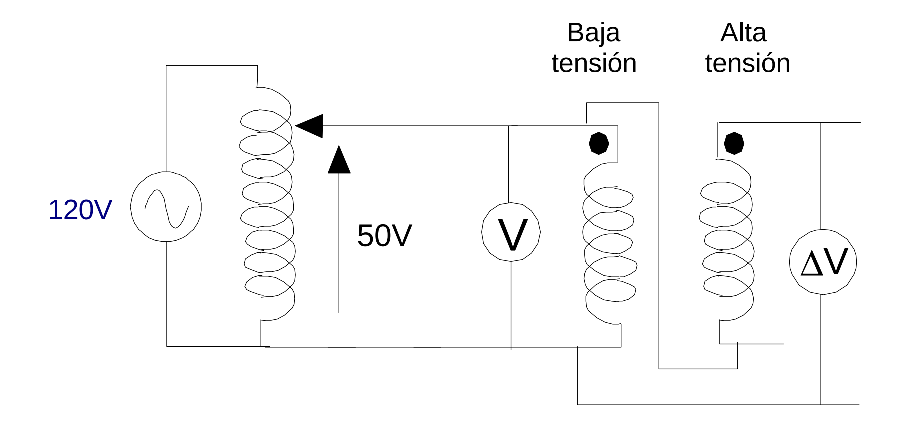


Figura 6.2

Experimento 4

En este experimento se realizará la prueba de corto circuito. Para ello monte el circuito mostrado en la figura 6.4. Una vez realizado el montaje siga los siguientes pasos:

- Antes de conectar el circuito al variac verifique que la tensión entre los bornes que se van a conectar al circuito sea 0V.
- Por medio del cursor del variac varíe lleve la tensión aplicada al devanado de alta tensión hasta que la corriente que circula por el mismo sea igual a la nominal. Debe tenerse cuidado al aumentar la tensión por medio del cursor del variac, esto debe hacerse lentamente ya que pequeños incrementos de tensión producirán incrementos significativos en la corriente y, un aumento busco de la tensión produciría un aumento brusco en la corriente que podría quemar algún fusible o eventualmente dañar el amperímetro o el transformador.

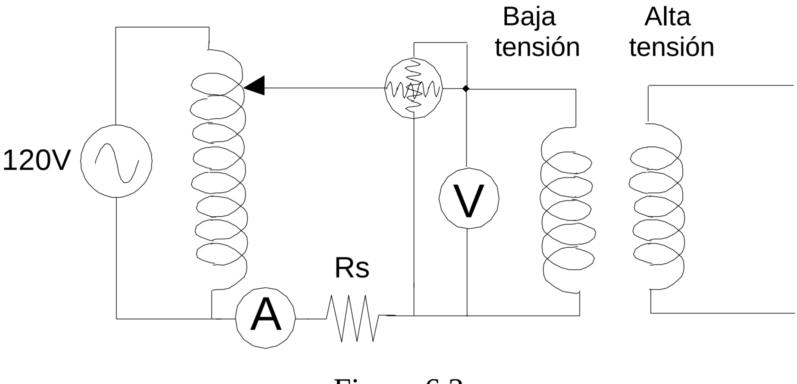


Figura 6.3

- Tome nota de la tensión aplicada al devanado de alta tensión. A esta tensión se le llama tensión de cortocircuito V_{CC}.

- Tome nota de la potencia absorbida por el transformador. A esta potencia se le llama potencia de cortocircuito P_{CC}.

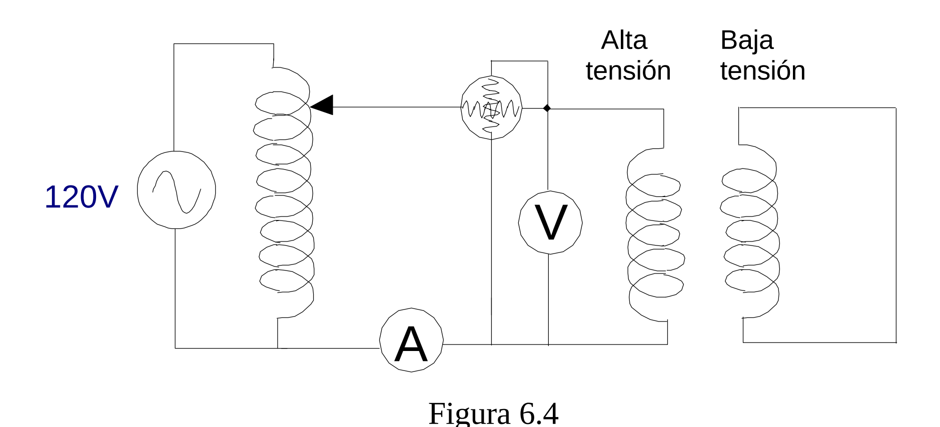


Figura 6.4

Con las mediciones realizadas en los experimentos 2 y 3 calcule los parámetros del modelo circuital del transformador. Dibuje este modelo y coloque en él los valores calculados de los diferentes parámetros.

Experimento 5

Solicite al instructor 2 bobinas de 600 vueltas y un núcleo completo. Tome nota de todas las dimensiones del núcleo, tal como se indica en la figura 6.5. La línea punteada dentro de la pieza corresponde al llamado camino magnético promedio y debe determinarse su longitud en base a las dimensiones de la pieza, así como el área de la sección transversal.

Usando las bobinas de 600 vueltas y el núcleo completo construya un transformador de relación 1:1 tal como se muestra en la figura 6.6. Basándose en este transformador monte el circuito mostrado en la figura 6.7, para tal fin solicite al instructor el “circuito

integrador”. Tome nota del valor del condensador y de la resistencia de este circuito. Este montaje le permitirá observar con ayuda de un osciloscopio la curva de histéresis del material ferromagnético del cual está hecho el núcleo.

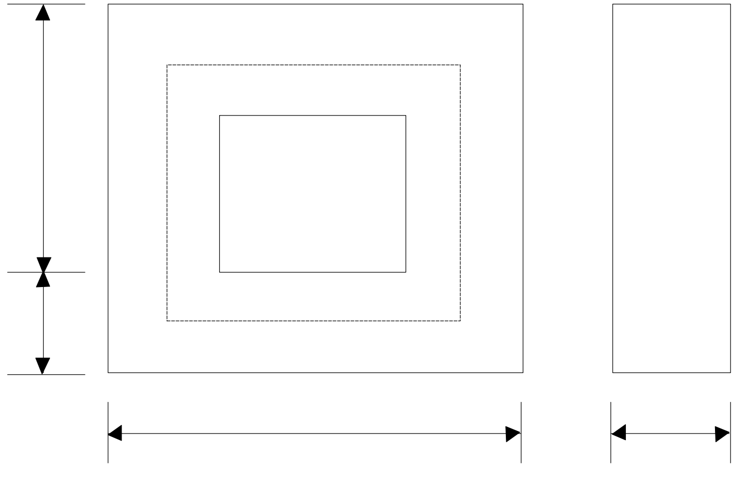


Figura 6.5

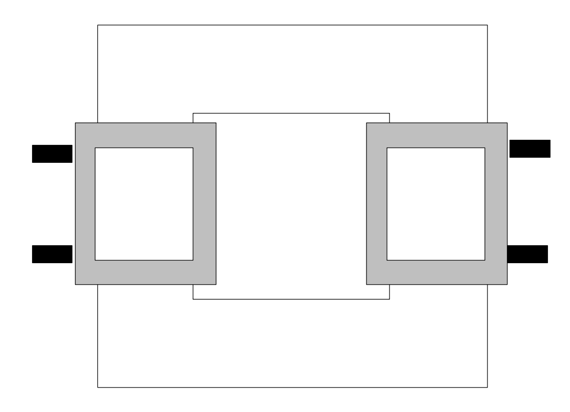


Figura 6.6

Una vez montado el circuito realice los siguientes pasos:

- Ajustar la tensión aplicada al circuito hasta 120V
- Conecte el canal A del osciloscopio entre los puntos C y B, tomando el punto B como la tierra del osciloscopio.

- Conecte el canal B del osciloscopio entre los puntos A y B, ya que la tierra estaba ya previamente conectada en el punto B sólo se debe conectar la punta sobre el punto A.
- Coloque el osciloscopio en la modalidad X vía A (perilla Time/div)
- Ajuste las ganancias de los canales A y B de manera de obtener una imagen estable dentro de los límites de la pantalla del osciloscopio.
- Dibuje en papel milimetrado la curva observada anotando las escalas (Amp/div) para los ejes horizontal y vertical (recuerde no olvidar la atenuación de las puntas del osciloscopio.
- Tome nota de la potencia consumida por el transformador

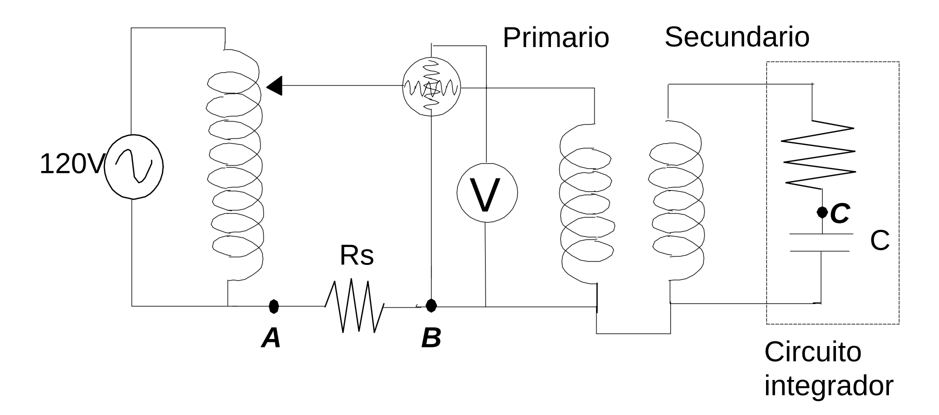


Figura 6.7

Basándose en la curva observada calcule el área de la curva de histéresis. Para tal fin calcule los factores de escala para llevar las escalas vertical y horizontal que están en Volt/div a unidades de densidad de flujo B por división y campo magnético H por división, es decir, Tesla/div y A/(m.div). Seguidamente cuente los cuadros encerrados por la curva y calcule la energía consumida por ciclo por unidad de volumen y la potencia disipada por histéresis según se indica en el anexo. Con la potencia disipada por histéresis anteriormente calculada y el la potencia medida calcule la potencia consumida debido al

efecto de las corrientes parásitas. Calcule el porcentaje correspondiente para las perdidas de histéresis y las pérdidas por corrientes parásitas respecto a la potencia total consumida.

Bibliografía recomendada

E.E. Staff del MIT "Circuitos magnéticos y transformadores", Editorial Reverté, Caracas, 1982. Capítulos V y VI.

HUBERT, Charles "Circuitos eléctricos CA / CC: enfoque integrado", Ed. Mc Graw-Hill. Capítulo 18.

CHAPMAN, Stephen "Máquinas eléctricas", De. Mc Graw-Hill, México 1987 Capítulos Uno y Dos.

Anexo:

1. Determinación del factor de escala vertical (K_V)

Según la ley de Faraday, la tensión inducida en el secundario producto del flujo (variable en el tiempo) en el núcleo se tiene que:

$$V_2 = N_2 \frac{\partial \varphi}{\partial t} \tag{1}$$

Suponiendo que el flujo es perpendicular a la sección transversal en todo momento, se tiene que:

$$\varphi = \int_S \overline{B} \cdot d\overline{A} = BA \tag{2}$$

donde B es la densidad de flujo en el núcleo y A el área efectiva de la sección transversal, cabe destacar que debido a que el hecho de que el núcleo es laminado, el área geométrica (calculada a partir de las dimensiones físicas del núcleo) debe ser afectada por un factor, llamado factor de apilamiento que, en el caso particular es 0,9. Así el área efectiva será el producto del área geométrica por el factor de apilamiento. Otra suposición implícita en la ecuación (2) es que el área de la sección transversal es constante, lo cual estrictamente hablando no es cierto, particularmente en las aristas de la pieza; sin embargo esta suposición es bastante buena para el problema específico. Sustituyendo la ecuación (2) en la ecuación (1) se tiene que:

$$V_2 = N_2 A \frac{\partial B}{\partial t} \tag{3}$$

Para el circuito integrador usado se tiene que: $R >> Xc$, por lo que se tiene que:

$$I_2 = \frac{V_2}{R} \tag{4}$$

La tensión sobre el condensador será entonces:

$$Vc = \frac{1}{C}\int I_2\, dt = \frac{1}{C}\int \frac{V_2}{R}\, dt \tag{5}$$

Substituyendo la ecuación (2) en la ecuación (5) se tiene que:

$$Vc = \frac{N_2 AB}{CR} \tag{6}$$

por lo cual el factor de escala vertical será:

$$K_v = \frac{Vc.CR}{N_2 A} \;\; [\text{Tesla / div}] \tag{7}$$

donde Vc es la escala del canal respectivo del osciloscopio (Amp/div) llevada a Volt/div

2. Determinación del factor de escala horizontal (K_h)

Aplicando la Ley de Ampère en el lado del primario se tiene que:

$$H = \frac{N_1 I_1}{L} \tag{8}$$

donde I_1 es la corriente que circula por el devanado primario y L es la longitud del camino magnético promedio. Este camino magnético promedio representa el camino promedio recorrido por el flujo que circula dentro del núcleo. Este camino se obtiene por condiciones puramente geométricas según se indicó en el experimento 6.5.

La corriente que circula por el primario es censada a través de la tensión sobre la resistencia shunt (Rs), llamando Vs a la tensión sobre la resistencia shunt se tiene que:

$$K_h = \frac{N_1 V_s}{RsL} \;\; [\text{A / m.div}] \tag{9}$$

donde Vs es la escala del canal respectivo del osciloscopio (Amp/div) llevada a Volt/div

3. Potencia disipada por efecto de histéresis magnética

Luego la energía absorbida por el campo magnético por unidad de volumen para un ciclo completo será:

$$W = K_v \text{ [Tesla/div]}. K_h\text{[A/(m.div)]. área encerrada por la curva [div}^2\text{]} \qquad (10)$$

donde : K_v = factor de escala vertical

K_h= factor de escala horizontal

Luego bajo el supuesto que el flujo se distribuye uniformemente en todo el volumen del material magnético, la pérdida de potencia por histéresis será:

$$Ph= V \text{ [m}^3\text{]. f [ciclos/s]. W [Joule/ciclo]} \qquad (11)$$

El volumen del circuito magnético se calculará como:

$$V= \text{longitud del camino magnético[m].área efectiva de la sección transversal [m}^2\text{]} \quad (12)$$

4. Potencia disipada por efecto de corrientes parásitas (Corrientes de Focault)

Si se mide la potencia que consume el circuito magnético, tal como se muestra en la figura 6.7, es posible calcular, a partir del conocimiento de las pérdidas de histéresis, las pérdidas por efecto de corrientes parásitas. Para realizar esto hay que hacer una suposición inicial, debido a que la impedancia del circuito integrador es muy grande a la frecuencia de operación, las corriente por los circuitos primario y secundario son muy pequeña, por lo cual lo son también las pérdidas en los devanados. Entonces bajo esta hipótesis la potencia que indica el vatímetro será la suma de las pérdidas por el efecto de histéresis magnética y las pérdidas por efecto de las corrientes parásitas. Entonces:

$$P_{\text{corrientes de Focault}} = P_{\text{Medida}} - P_{\text{histéresis}} \qquad (13)$$

Práctica No 7

“Circuitos trifásicos ”

Objetivo

Estudiar los circuitos trifásicos equilibrados y desequilibrados, mediante mediciones de tensiones, corrientes y potencia en los mismos.

Trabajo previo al laboratorio

1. Investigue sobre los siguientes tópicos y exponga un resumen, por escrito.
   - Circuitos trifásicos balanceados
   - Circuitos trifásicos desbalanceados
   - Teorema de Blondel para la medición de potencia activa en un sistema polifásico
   - Secuencia en un sistema trifásico, métodos para determinarla
   - Corrimiento del neutro en un sistema trifásico
2. Para una carga trifásica cualquiera dibuje la conexión de los vatímetros para medir la potencia activa total por los siguientes métodos:
   - método de los tres vatímetros (para sistemas trifásicos a tres hilos y a cuatro hilos)
   - método de los dos vatímetros
   - método de un vatímetro

   Para los tres casos justifique analíticamente los métodos.
3. Para una carga trifásica en delta (equilibrada o desequilibrada), dibuje la conexión de los vatímetros para medir potencia activa por fase. Hágalo también para una carga trifásica en estrella.
4. Para una carga trifásica cualquiera, dibuje la conexión de los vatímetros para medir la potencia reactiva total consumida por la carga. Justifique analíticamente el método.
5. Para una carga trifásica balanceada, dibuje la conexión de los vatímetros para la medición del factor de potencia de la carga. Justifique analíticamente el método.

6. Para los circuitos mostrados en las figura 7.1 y 7.2 calcule las corrientes de línea y de fase, las tensiones de línea y de fase, la potencia activa por fase y total, la potencia reactiva por fase y total, y el factor de potencia de la carga. La fuente de tensión es un sistema trifásico de 120V de tensión de fase y frecuencia de 60Hz. Las características de la carga son las siguientes:
   - Lámparas incandescentes: 60W, 120V
   - Condensadores: 30μF

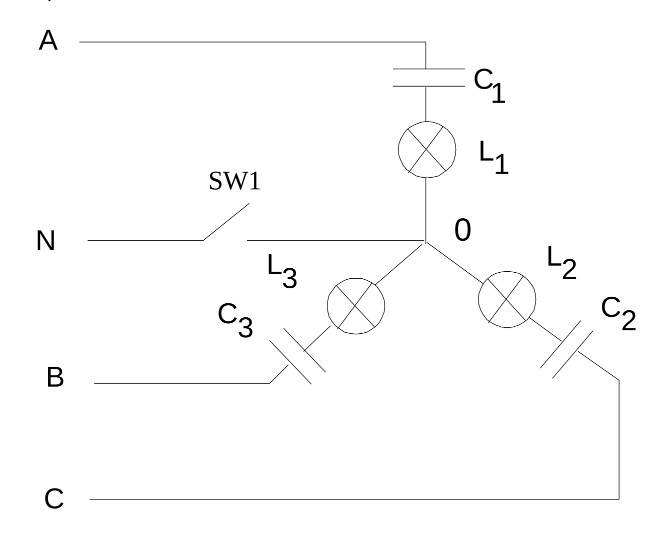


Figura 7.1

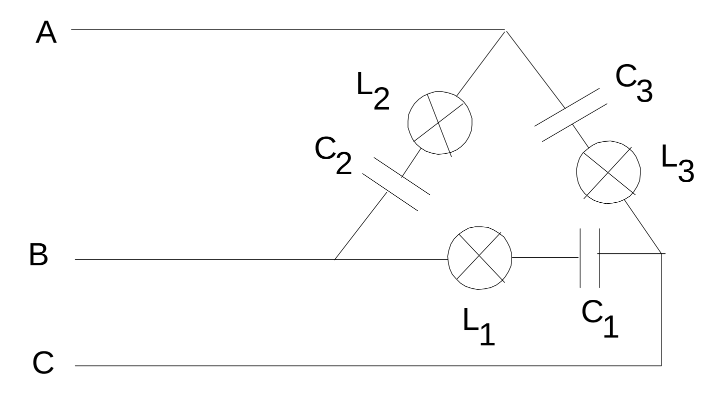


Figura 7.2

7. Para el circuito de la figura 7. 3, con SW1 cerrado calcule las corrientes por las fases y por el neutro, también calcule la potencia activa y reactiva por fase. Haga los mismos

cálculos anteriores con SW1 abierto. Observe que este es un circuito trifásico donde la carga es desequilibrada y la fuente equilibrada, que es el más comúnmente usado. Concluya. ¿Qué cambios hay que realizar en una conexión para invertir la secuencia del sistema de tensiones trifásicas?.

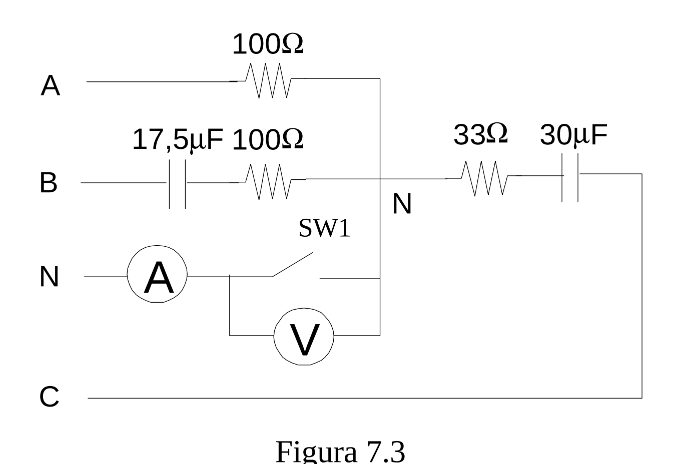


Figura 7.3

Trabajo de laboratorio

<u>Experimento 1</u>

Solicite al profesor y/o preparador el medidor de secuencia y consulte sobre su uso. Determine la secuencia del sistema de tensiones trifásico que tiene en su mesa de trabajo.

<u>Experimento 2</u>

Montar el circuito de la figura 7.1 y medir las tensiones, corrientes y potencias activas por fase. Medir la potencia activa total y comprobar que Pt = 3Pf, Pt = P1+ P2 (método de los dos vatímetros). Además medir Vxn, Ixn y determinar Vno. Medir la potencia reactiva total. Determine la potencia reactiva por fase. Determine el factor de potencia de la carga. ¿Que relación existe entre las tensiones de línea y las tensiones de fase?. Cerrar el interruptor S. ¿Observa algún cambio?. Explique.

Nota: tome la precaución de utilizar los aparatos de medición en el rango correcto según los calculos realizados en el trabajo previo al laboratorio. Si tiene dudas consulte al profesor antes de conectar los circuitos.

Experimento 3

Montar el circuito de la figura 7.2 y medir las tensiones, corrientes y potencias activas por fase. Medir la potencia activa total, así como también la potencia reactiva total. Determine la potencia reactiva por fase. ¿Qué relación existe entre las corrientes de línea y las corrientes de fase?.

Nota: no deje mucho tiempo energizado el circuito 7.2, ya que los bombillos podrían quemarse ya que están trabajando por encima de su tensión nominal.

Experimento 4

Armar el circuito de la figura 7.3, conecte el neutro (cerrando el interruptor SW1) y mida Von e Ion. Mida las corrientes y potencias activas por fase. Desconecte el interruptor S y repita las mediciones anteriores. Compre con los valores teóricos. En base a las medidas dibuje el diagrama fasorial con y sin neutro. Concluya. Explique qué sucede si las capacitancias tienden a infinito.

Bibliografía recomendada

HARRIS, Forest "Electrical measuraments", Ed. John Wiley & Sons, Inc. séptima edición, USA,1966, Capítulo 11.

HUBERT, Charles "Circuitos eléctricos CA/CC: enfoque integrado", Ed. Mc Graw-Hill, México, 1986.

MIT "Electric circuits", The MIT Press, treceava edición, Cambridge, USA,1963.

KERCHNER, Roussell "Cicuitos en corriente alterna", Ed. CECSA, México, 1962.

Práctica No 8

“Resonancia serie y paralelo”

Objetivo

Estudiar el fenómeno de resonancia en circuitos resonantes serie y paralelo y sus aplicaciones.

Trabajo previo al laboratorio

1. Investigue sobre los siguientes tópicos. Exponga un resumen, por escrito.
- Circuitos resonantes serie y paralelo
- Frecuencia de resonancia (fo)
- Ancho de banda (AB)
- Factor de calidad (Q) y de pérdidas (D)
2. Demuestre que en un circuito serie RC, con R=1500Ω y C=0,1μF la frecuencia f de la tensión aplicada está determinada por la expresión:

$$f = 1061(V_R/V_C)$$

3. Calcule la frecuencia de resonancia “fo” y el factor de calidad “Qo” de los siguientes circuitos LC serie.
- La bobina de 2000 vueltas sin núcleo (35mH) y el condensador de 0,1μF
- La bobina de 600 vueltas sin núcleo (9mH) y el condensador de 0,1μF
- Las mismas bobinas con un consensador de 0.22μF
4. Demuestre que la impedancia de un circuito paralelo resonante es prácticamente resistiva y tiene por valor: $R_p = R_L(Qo)^2$, donde R_L es la resistencia óhmica de la bobina.
5. Un circuito tanque está alimentado por un generador de tensión constante en serie con una resistencia Rs. Transforme el generador de tensión en uno de corriente y demuestre que el “Q” efectivo del circuito viene dado por la expresión:

$$Q = \frac{\omega_O C R_P R_S}{R_{P+} R_S}$$

6. Demuestre que el ancho de banda "AB" y el Q de un circuito resonante están relacionados por la expresión:

$$fo = (AB)Q$$

Trabajo de laboratorio

Experimento 1

Comprobar que la resistencia de salida del generador de alta frecuencia es 600Ω. Para esto mida las tensiones en los terminales del generador con y sin carga, utilizar como carga una resistencia adecuada de valor conocido. Comprobar que la tensión obtenida entre los bordes del generador es independiente de la frecuencia.

Experimento 2

Monte el circuito mostrado en la figura 8.1, use la bobina de 1200 espiras. Determine la frecuencia de resonancia "fo" , el ancho de banda "AB" y el factor de calidad "Q". Grafique V_{AB} en función de la frecuencia f. A la frecuencia de resonancia, mida las tensiones del generador, entre los puntos A y B, y en los bornes de la resistencia R_1. Con estos valores, calcule el valor de la resistencia R_P del circuito resonante. Verifique que la tensión de entrada es la suma aritmética de las tensiones V_{AB} y $V_{R.}$ ¿Porqué?.

Cambiar R_1 por una resistencia de valor 50Ω y determine la frecuencia de resonancia y compruebe que no depende del valor de R_1, también determine el ancho de banda AB y el factor de calidad Q. Note que el ancho de banda aumenta, ya que Q depende de $R_{1.}$

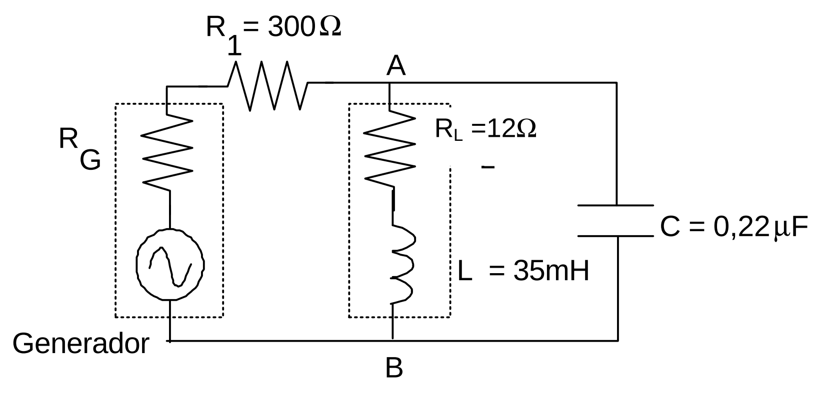


Figura 8.1

Experimento 3

Monte el circuito mostrado en la figura 8.2, use la bobina de 600 espiras. Determine la frecuencia de resonancia ($I=I_{MAX}$), tome lecturas de V_C, V_L y V_G. Grafique cada una de las tensiones medidas en función de la frecuencia.

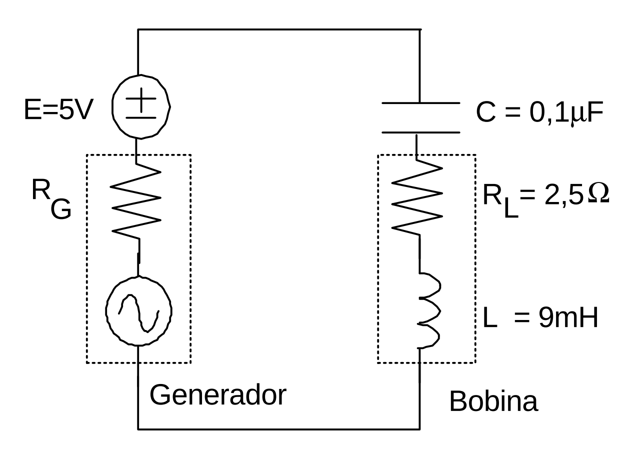


Figura 8.2

Experimento 4

Monte el circuito de la figura 8.3, use la bobina de 1200 espiras. Ajuste el generador G a la frecuencia de resonancia, mida con el voltímetro electrónico V_{AB} y V_{BC}. Concluya.

Conecte un diodo y un condensador de 0,1μF tal como se indica en la figura 8.3. Conecte el osciloscopio (en DC) entre los puntos D y E y observe la señal. Note que la amplitud es proporcional a la tensión del generador.

Conecte ahora una resistencia de 10kΩ entre los puntos D y E y observe en el osciloscopio. varíe la frecuencia del generador. Concluya.

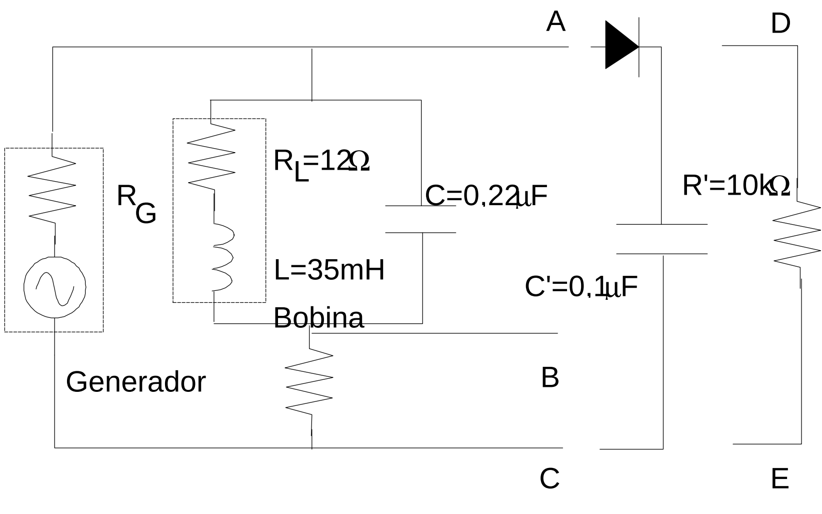


Figura 8.3

Bibliografía recomendada

HUBERT, Charles “Circuitos eléctricos CA/CC: enfoque integrado”, Ed. Mc Graw-Hill, México, 1986.

MIT "Electric Circuits", The MIT Press, Cambridge, Massachiusetts, USA, 1963.

VAN VALKENBURG, M.E.
CRUZ, José "Señales en circuitos lineales". CECSA, Mexico, 1978, Capítulo 11.